



Università degli Studi di Pisa

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi

Anno accademico 2010/2011

Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica

Tesi di Laurea;

Analisi di fattibilità di piccola rete con generazione distribuita e alimentazione di auto elettriche

Relatori:

Prof. Massimo Ceraolo

Ing. Gioacchino Bellia

Candidato:

Francesco Gemin

Indice

Sommario.....	p.11
Abstract.....	p.13
Introduzione.....	p.15
Capitolo 1. La generazione distribuita e le piccole reti.....	p.17
1.1 La generazione distribuita.....	p.17
1.2 Minireti e Virtual Power Plant.....	p.19
Capitolo 2. Tecnologie da fonte rinnovabile per la generazione distribuita e per la mobilità elettrica valutate all'interno dello studio di fattibilità.....	p.22
2.1 La generazione di energia elettrica mediante il solare fotovoltaico.....	p.22
2.1.1 La cella e i moduli fotovoltaici.....	p.23
2.1.2 Tecnologie PV.....	p.24
2.1.3 Trends di sviluppo della tecnologia fotovoltaica e incentivi in conto energia.....	p.25
2.2 La generazione di energia elettrica mediante l'eolico.....	p.27
2.2.1 Classificazione dei generatori eolici.....	p.28
2.2.2 Incentivi per gli impianti eolici.....	p.30
2.3 La mobilità elettrica.....	p.31

Capitolo 3. Descrizione e modellazione della piccola rete.....p.33

3.1	Generalità.....	p.33
3.2	Descrizione dell'utenza.....	p.34
3.3	Sistemi di generazione elettrica.....	p.37
3.3.1	Impianto fotovoltaico.....	p.37
3.3.2	Impianto minieolico.....	p.40
3.4	Interfaccia e collegamento con la rete elettrica nazionale.....	p.44
3.5	Mobilità: dispositivi di ricarica e veicoli elettrici.....	p.46
3.5.1	Caratteristiche tecniche della Smart ED.....	p.47
3.6	Software di modellazione.....	p.49
3.7	Modello della minirete.....	p.53
3.7.1	Dati meteorologici.....	p.57
3.7.2	Utenza: Dipartimento DESE.....	p.60
3.7.3	Generazione distribuita.....	p.61
3.7.3.1	Impianto fotovoltaico.....	p.62
3.7.3.2	Impianto minieolico.....	p.65
3.7.4	Elaborazioni e scambio di potenza con la rete.....	p.67
3.7.5	Ricarica dei veicoli elettrici.....	p.73
3.7.6	Visualizzazione dati.....	p.77

Capitolo 4. Simulazioni e analisi tecnico-economica.....	p.78
4.1 Elaborazione dei dati di carico.....	p.78
4.1.1 Consumo energetico annuo della flotta di EVs.....	p.85
4.2 Attività di simulazione della “piccola rete” e analisi dei risultati.....	p.86
tecniche ottenute.	
4.3 Considerazioni economiche mediante indici e business plan.....	p.98
4.3.1 Richiami di Valutazione finanziaria.....	p.98
4.3.2 Analisi economica e Business Plan per la configurazione scelta della minirete...p.103	
Conclusioni e sviluppi futuri.....	p.109
Bibliografia.....	p.111

Sommario

L'oggetto del presente lavoro di tesi è una analisi di fattibilità tecnico-economica per la realizzazione di una piccola rete elettrica che integri sistemi fotovoltaici ed eolici al fine di soddisfare il fabbisogno energetico del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi (DESE) di Pisa. Lo studio è stato svolto presso il centro di ricerca di ENEL Ingegneria Innovazione S.p.A

Come utile introduzione alle attività svolte, la tesi presenta anche una panoramica su alcuni dei principali sistemi di generazione da fonte rinnovabile, quali il solare fotovoltaico e l'eolico, e introduce alcuni richiami sulla mobilità elettrica.

L'esecuzione dello studio di fattibilità ha richiesto l'analisi di dati dei consumi energetici del DESE acquisiti nell'arco temporale di un anno solare. I dati di consumi energetici sono stati elaborati, attraverso il software MATLAB, al fine di identificare due giorni medi rappresentativi, uno feriale e uno festivo, per ciascun mese dell'anno. I giorni rappresentativi sono stati replicati al fine di identificare un anno intero e sono stati utilizzati come input per il modello di minirete per la alimentazione delle utenze del DESE. All'interno della minirete oggetto di studio è stata prevista l'integrazione di un sistema di generazione da fotovoltaico e di una pala minieolica il dimensionamento e studio dei quali è stato oggetto dello studio di fattibilità.

La modellazione della minirete è stata effettuata attraverso il software TRNSYS. Attraverso la modellazione della minirete è stato possibile analizzare le necessità in termini energetici del DESE e di conseguenza dimensionare i sistemi di generazione necessari per l'alimentazione della stessa. Il criterio adottato per il dimensionamento dei sistemi di generazione della minirete è stato il raggiungimento dell'autosufficienza energetica del Dipartimento.

All'interno del lavoro di tesi è stata ipotizzata la presenza di una piccola flotta di veicoli elettrici il cui fabbisogno energetico venga soddisfatto dai sistemi di generazione da fonte rinnovabile modellati nello studio. All'interno dell'analisi, oggetto della presente tesi, sono stati valutati, infine, gli aspetti economici relativi alla realizzazione dell'opera al fine di valutarne l'effettiva fattibilità. L'elaborazione di un business plan e il calcolo dei principali indici economici, associati alla realizzazione degli impianti per l'alimentazione della minirete, hanno evidenziato l'effettiva fattibilità dell'opera anche dal punto di vista della convenienza dell'investimento associato. Considerati i risultati ottenuti, in termini di convenienza economica e garanzia della sostenibilità energetica del dipartimento, uno dei possibili sviluppi futuri più interessanti al presente lavoro di

tesi riguarda la valutazione dell'estensione dello stesso studio ad altri dipartimenti di Ingegneria. È, infine, d'obbligo sottolineare come nel presente lavoro di tesi siano stati valutati solo gli aspetti legati al consumo di energia elettrica e che nei possibili sviluppi futuri del presente studio di fattibilità sarà interessante valutare l'integrazione di sistemi cogenerativi al fine di soddisfare il fabbisogno termico del DESE.

Thesis: Feasibility analysis of a small network with a distributed generation and a supply of electric cars.

Abstract

The subject of this paper is the analysis of technical and economic feasibility for the construction of a small electricity grid incorporating solar and wind systems to meet the energetic demand of the Department of Energy and Systems Engineering (DESE) in Pisa. The study was conducted at the Research Center of ENEL S.p.A. Engineering Innovation.

This thesis shows an overview on some of the major systems of generation from renewable sources, such as the solar photovoltaic and the wind energy one, and introduces some calls on electric mobility.

The execution of this feasibility study required the analysis of energy consumption data by the DESE, gained in one calendar year time. The said energy consumption data have been processed through MATLAB software, in order to identify two average, representative days, one weekday and one public holiday for each month of the year. The representative days were replicated in order to identify an entire year and were used as an input for a model of minigrid supplying energy to the DESE. Inside the studied minigrid an integration was planned of a photovoltaic generation system and of a minisail, the sizing and study of which has been the subject of a feasibility study.

The modelling of the aforesaid minigrid was made using TRNSYS software. Through the modelling of the minigrid it was possible to identify the energetic needs of the DESE and consequently to size the generation systems needed to power it. The criterion adopted to size the generation systems of the minigrid was an energetic self-sufficiency of the Department.

Within this thesis the presence of a small fleet of electric vehicles has been suggested whose energetic demand were met from renewable sources by the systems modelled in the study. Within this analysis, the subject of this thesis, finally, economic aspects related to this project execution have been considered in order to assess its feasibility. The development of a business plan and the reckoning of key economic indicators, associated with the construction of facilities for the supply of the minigrid, have shown the feasibility of this work in terms of convenience and associated investment.

Considering the results obtained, in terms of economic convenience and guarantee of an energetic sustainability for the department, one of the most interesting possible developments of this thesis, concerns the extending of this study to other Engineering departments. Finally, it is compulsory to underline both that only the aspects related to energy consumption have been considered in this thesis, and that in possible future developments of this specific feasibility analysis it may be interesting to consider an integration of cogenerative systems in order to satisfy the thermal demand of the DESE.

Introduzione.

La necessità di una maggiore flessibilità del sistema elettrico, gli scenari legislativi ed economici, la necessità di un reale risparmio energetico e l'esigenza di proteggere carichi sempre più sensibili ai disturbi di rete hanno richiesto negli ultimi vent'anni un crescente sforzo della ricerca nel settore energetico. Alle necessità sopra elencate si aggiunge il bisogno di creare un parco di generazione in grado di fornire un servizio stabile, ben dimensionato e tale da soddisfare le necessità di consumatori sempre più energivori. Se da un lato la soluzione di tali problematiche richiede uno sforzo da parte del consumatore per modificare le proprie abitudini e utilizzare l'energia in modo più consapevole e responsabile è tuttavia necessario trovare soluzioni diversificate e integrate per la generazione di energia e la sua distribuzione agli utilizzatori

All'interno di tale scenario di sviluppo la generazione distribuita attraverso l'integrazione e l'utilizzo di diverse fonti di generazione di energia distribuite sul territorio e localizzate vicino ai consumatori, costituisce uno degli scenari e delle soluzioni più interessanti per il miglioramento della sostenibilità energetica del sistema elettrico. La generazione distribuita per sua intrinseca natura presuppone che in ciascun sito di installazione possa essere scelta la tecnologia che meglio risponda alle necessità dell'utente finale.

Le tecnologie di generazione da fonti rinnovabili rappresentano attualmente una delle più interessanti soluzioni tecniche per la generazione distribuita. In funzione, infatti, delle specifiche condizioni orografiche e meteo-climatiche dei siti di installazione è possibile infatti individuare caso per caso le soluzioni tecniche specifiche che rispondano nel modo migliore possibile alle esigenze degli utenti finali.

I differenti sistemi di generazione distribuita possono essere integrati tra loro in architetture più o meno ampie fino a costituire delle minireti; tali reti possono a loro volta essere connesse alla rete elettrica nazionale o funzionare in isola.

Dal punto di vista del gestore della rete, una piccola rete può essere controllata come se fosse un'unica entità. I sistemi di generazione possono essere di diverse tipologie quali ad esempio : impianti solari fotovoltaici, eolici, sistemi di generazione elettrochimica come batterie o celle a combustibile e gruppi elettrogeni tradizionali.

La scelta delle soluzioni tecnologiche più adatte insieme ad un dimensionamento corretto e ad una gestione accurata con programmi di manutenzione ordinaria e straordinaria efficienti costituiscono alcuni degli strumenti chiave per la realizzazione e l'esercizio corretto di impianto per la generazione distribuita da fonti energetiche rinnovabili.

Le stesse tecnologie per la generazione da rinnovabili se accoppiate con sistemi di stoccaggio energetico, opportunamente dimensionati possono fornire servizi alla rete consentendo di poter modificare il profilo di immissione della potenza in rete e di conseguenza riducendo le problematiche legate alla aleatorietà delle fonti primarie rinnovabili.

Obiettivo della tesi è analizzare i consumi del Dipartimento DESE al fine di poter eseguire uno studio di fattibilità per la realizzazione di una piccola rete interna al dipartimento, alimentata da sistemi di generazione da fonti rinnovabili e connessa alla rete elettrica nazionale.

All'interno dello studio di fattibilità, data la disponibilità di sistemi di generazione da fonti rinnovabili, è stata analizzata la possibilità di accoppiare a questi ultimi, la ricarica di un parco di auto elettriche. Oltre agli aspetti tecnici, lo studio di fattibilità, oggetto della tesi, ha affrontato anche gli aspetti economici valutando la redditività economica dell'investimento associato alla realizzazione dell'opera.